

Identification and analysis of pathologies in bridges of urban and rural roads

Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales

Nilson Tadeu Mascia*¹, Artur Lenz Sartorti**

* Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, BRAZIL

** Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP), BRAZIL

Fecha de recepción: 04/ 12/ 2010
Fecha de aceptación: 06/ 03/ 2011
PAG. 05 - 24

Abstract

A concern with a great number of bridges with significant pathological problems was the motivating factor to carry out this research. Small and medium size bridges have significant relevance for the economic and social development of the country, because they must ensure the transit of people, vehicles with raw material and local produce. However, the precarious conditions of bridges in the urban and rural areas make the displacement difficult, causing discomfort and unsafety for users. Furthermore, the transportation costs for producers and the maintenance for the local government continue to increase. This article intends to show the conservation conditions of small and medium sized bridges in the urban and rural region of Campinas (SP)-Brazil. Thus, this study is based on the analysis of four bridges of this region, in which is presented several examples in situ of the pathological manifestations in concrete, steel and wood bridges. This article also focuses on the design of bridges and its relationship with the pathological condition establishing concepts that could be applied to the corrective method and the pathology identification in concrete, steel and wood bridges. Finally, it aims to conclude that the most appropriate way to avoid a pathological state is preventive maintenance.

Keywords: Bridges, pathology, concrete, steel, wood

Resumen

La preocupación con un gran número de puentes con importantes problemas patológicos fue el factor de motivación para llevar a cabo esta investigación. Puentes de tamaños mediano y pequeño tienen relevancia significativa en el desarrollo económico y social del país, pues deben garantizar el tránsito de personas, vehículos, materias primas y productos locales. Sin embargo, las precarias condiciones de los puentes en las zonas urbanas y rurales hacen difícil el desplazamiento, causando incomodidad e inseguridad para los usuarios. Por otro lado, los costos de transporte para los productores y el mantenimiento para los gobiernos locales continúan aumentando. Este artículo tiene la intención de evaluar las condiciones de conservación de puentes pequeños y medianos en la región urbana y rural de Campinas (SP)-Brasil. Así, este estudio se basa en el análisis de cuatro puentes de esta región, en los que se presentan varios ejemplos sobre el terreno de las manifestaciones patológicas en puentes de concreto, acero y madera. Este artículo también se centra en el diseño de puentes y la relación con su estado patológico estableciendo conceptos que podrían aplicarse al método correctivo y a la identificación de la patología en puentes de concreto, acero y madera. Por último, el objetivo es concluir que la forma más adecuada para evitar un estado patológico es el mantenimiento preventivo.

Palabras Clave: Puentes, patología, concreto, acero, madera

1. Introducción

La importancia de los puentes en el desarrollo y en las relaciones humanas ha sido el objetivo principal del impulso para el conocimiento en la construcción y mantención de dichas estructuras.

¹ Autor de correspondencia / Corresponding author:
E-mail: nilson@fec.unicamp.br

En general el propósito inicial de un puente es superar un obstáculo para luego continuar el camino. Sin embargo, tomando en cuenta la literatura técnica sobre clasificaciones de puentes, es necesario considerar aspectos de diseño, tales como obstáculos superados, vistas laterales, cantidad de vanos libres, área de soporte que constituye el material, naturaleza del tránsito, etc.

En general, se reconoce que técnicamente existe un énfasis en los grandes puentes con sistemas estructurales complejos, sin considerar adecuadamente los puentes pequeños y de tamaño mediano. Sin embargo miles de pequeños puentes conectan a un sinnúmero de personas, ofreciéndoles acceso a oportunidades de recursos necesarios y a un flujo de producción.

Desgraciadamente, es posible notar que la mayoría de los puentes rurales y urbanos presentan condiciones patológicas críticas, poniendo en riesgo la seguridad de la sociedad y produciendo pérdidas económicas.

Este artículo intenta colaborar con las tareas de identificación de patologías en puentes pequeños y de tamaño mediano. Para tal efecto, es necesario revisar los factores relativos a los diseños de puentes y patologías en estructuras de madera, acero y concreto. El trabajo de identificación de la patología de un puente es presentado, en conjunto, con un caso de estudio realizado en cuatro puentes de Campinas (SP) en el sudeste de Brasil.

2. Preparación del diseño del puente

Los diseños de los puentes se caracterizan por la complejidad y la información que debiera ser sintetizada por el diseñador. Entonces, para diseños grandes y especiales, se requiere un equipo multidisciplinario. La calidad de un puente puede ser medida en función de su resultado funcional, estructural, económico y estético. Por lo tanto, un profesional requiere de conocimientos de ingeniería en transporte, estructuras, geotécnica, topografía, hidráulica, arquitectura y también se requieren otros especialistas para cada proyecto.

Cuando se observa el aspecto estructural, es evidente que el adecuado diseño estructural de un puente es de vital importancia, puesto que interferirá con su factibilidad, costos, funcionalidad y estética. Sin embargo, la eficiencia estructural no es siempre considerada como una cualidad, sino como un pre-requisito para un correcto diseño, en comparación con otras características tales como funcionalidad, hidráulica, ingeniería geotécnica y estética.

Para el diseño de un puente-camino, los valores resultados del diseño y los estados límites máximos de vida útil debieran cumplir con la norma brasilera ABNT: NBR 8681 (2003), en la cual, por ejemplo, la clasificación es realizada para resultados excepcionales, variables y permanentes. Según la norma ABNT: NBR 7187 (2003) para el diseño y ejecución de un Puente de hormigón reforzado o pre-tensado, los resultados activos dentro de los puentes son presentados dentro de los siguientes grupos con características relacionadas al diseño de los puentes.

Cuando los resultados activos son determinados a través de rutinas de cálculos, se verifican las fuerzas internas y secciones resistentes en el procedimiento de diseño, tomando en cuenta efectos locales y globales.

La determinación de fuerzas internas en las estructuras de los puentes no es una tarea sencilla y requiere de la experiencia y habilidad del ingeniero. El conocimiento de la estática estructural, en conjunto con una serie de combinaciones permite al diseñador determinar la distribución de carga.

Liebenberg (1993) también afirma que, incluso con procesadores de datos y actualizaciones computacionales, los procesos interactivos de análisis estructural, tales como el método de elementos finitos permiten a los diseñadores de puentes llegar a aproximaciones más realistas y a substituir cálculos numéricos complejos.

Hambly (1990) describió los cálculos de dimensionamiento revisando el conjunto de ecuaciones de equilibrio, en el total de una estructura o en parte de ella, comprobando la resistencia de cada sección y evaluando la condición de vida útil así como efectos secundarios.

Luego de dimensionar y detallar cada paso, la mayor preocupación debiera ser la selección del método constructivo.

La construcción y ensamblaje de un puente requiere de estudios acuciosos. En este estudio en particular, se debe considerar todas las medidas a ser tomadas, paso a paso, para garantizar aspectos de seguridad en la construcción, según indican Pinho y Bellei (2007). Otra inquietud es la ubicación de recursos en el método constructivo, como destacó Liebenberg (1993), debido a que el método de construcción es un factor muy importante en la selección de la alternativa estructural de un puente. Existen numerosos métodos de construcción para súper-estructuras tales como el hormigón vaciado en obra, elementos de hormigón pre-fabricado y vanos sucesivos.

3. Patologías estructurales

De acuerdo con Ripper y Souza (1998) se ha designado como Patología Estructural, el campo de la Ingeniería en Edificaciones que estudia los orígenes,

formas manifiestas, consecuencias y mecanismos de ocurrencia de fallas y sistemas de daños en las estructuras. También es parte de ella el área de la Ingeniería que trata patologías, incluyendo sistemas, mecanismos, causas y orígenes de fallas en obras civiles, es decir estudia las partes que componen el diagnóstico del problema.

Las patologías estructurales que se presentan en los puentes varían en intensidad e incidencia, provocando muchas veces altos gastos de reparación, como describió Raina (2003). En un aspecto similar, siempre existirán consideraciones estéticas y, a menudo, reducciones de la capacidad de resistencia, a veces conduciendo a una parcial o total falla estructural. Dado el constante aumento de situaciones de patología estructural, se ha investigado en esta área, no sólo en busca de la sistematización patológica, sino que también en el fomento de nuevos conceptos tecnológicos. Algunos nuevos conceptos, no tan difundidos sino hasta hace poco, son el rendimiento, durabilidad, entorno, conformidad, ciclo de vida útil y mantención.

Es posible definir el ciclo de vida material, como el período durante el cual sus características químicas y físicas permanecen sobre los límites mínimos especificados para su función. El ciclo de vida, puede ser extendido en forma significativa con un adecuado programa de mantención estructural.

El estudio de la Patología Estructural involucra el análisis detallado del problema, describiendo sus causas, formas manifiestas, mecanismos de ocurrencia, mantención estructural y profilaxis. Con una correcta estimación del caso, es posible que el profesional involucrado pueda definir una de las cuatro medidas terapéuticas para un caso de condición patológica. Según Sartorti y Mascia (2010) el terapeuta es responsable por el estudio de las correcciones y soluciones al problema. Existe un consenso que para alcanzar una alternativa correcta de aplicación terapéutica, se debe realizar un estudio detallado indicando el diagnóstico real del origen patológico. En la Tabla 1 se muestran las terapias a ser adoptadas, de acuerdo a cada caso. Maldonado et al. (2009) también establecieron que una evaluación correcta de los eventos que ocurren en una estructura, llevan a una intervención que dependerá, entre otros factores, del material disponible, costo de mano de obra y tiempo límite de ejecución.

Tratamiento/Treatment	Característica/Characteristic
Recuperación Recovery	Se entiende como recuperación la ejecución de procedimientos necesarios para la recobrar la capacidad resistente y soporte de la estructura As a recovery, it is understood as the necessary procedures for the bearing and strength capacity recovery of structure
Restauración Restoration	Es una intervención que sólo restablece las condiciones estéticas de la estructura An intervention that only reestablishes the esthetical conditions of the structure
Reforzamiento Reinforcement	Corresponde a las actividades para aumentar la resistencia de la estructura o su capacidad de soporte It is the promoted activities for the structure resistance increase or bearing capacity
Limitación de vida útil Serviceability Limitation	Esta opción debe ser adoptada cuando el tratamiento de recuperación no es económicamente viable That option must be chosen when the recovering therapy is not economically viable
Demolición Demolition	Es el tratamiento extremo, puede variar desde la demolición parcial de la estructura hasta su completa demolición The extreme therapy can vary from a partial to a complete structure demolition

Tabla 1. Tratamientos comunes para estructuras de concreto reforzado
Table 1. Common treatments for reinforced concrete structures

3.1 Patologías del hormigón reforzado y pre-tensado

El hormigón, de la manera en que es empleado, tiene una naturaleza inestable a través del tiempo, presentando algunos cambios químicos y físicos en sus características, debido a las propiedades de sus componentes y a sus reacciones ante factores ambientales propios del lugar donde la estructura desarrolla su función.

Existen muchos factores que influyen en el comportamiento final del hormigón, los más relevantes para la patología en estudio, dentro de las estructuras de concreto reforzado y pre-tensado, son: calidad del material, relación agua/cemento (w/c), medio ambiente, medidas y la calidad del proceso de construcción de obra civil.

3.1.1 Causas de patologías en estructuras de hormigón

En el análisis de la estructura dañada, el reconocimiento de la causa patológica es indispensable junto con correcto tratamiento, necesario para garantizar la minimización de la patología post-recuperación. Las causas del deterioro de las estructuras pueden ser divididas en dos grandes grupos, según Ripper y Souza (1998). Estas pueden ser causas intrínsecas y extrínsecas.

Las causas intrínsecas son aquellas que residen en la estructura misma. Tienen su origen en los componentes y materiales de la estructura. Son causas provocadas por errores humanos durante la ejecución y/o fase de empleo, así como por agentes naturales externos como ataques químicos e incluso accidentes. Mientras que las causas extrínsecas son aquellas independientes de la estructura misma, ya sea por su composición o fallas durante la ejecución. Pueden ser entendidas como factores que agreden las estructuras “desde fuera hacia adentro” durante todo el proceso de concepción, ejecución, o diseño de vida útil.

3.1.2 Formación y mecanismos manifiestos de las patologías en el hormigón pre-tensado y reforzado

a) Grietas

La formación de grietas se debe a la deformación provocada por la carga medioambiental o mecánica en una pieza de hormigón reforzado o pre-tensado, y puede tener origen en muchos factores, tales como grietas por deformación de tensión o compresión (estado crítico de leve colapso); grietas originadas por esfuerzo cortante o torsión (según Fusco (2008), que constituyen un estado crítico de leve colapso); grietas causadas por desplazamiento del hormigón; grietas originadas por contracción; grietas causadas por deformación de longitud térmicas o higroscópicas; grietas provocadas por deficiencia en el posicionamiento de equipo de soporte y detalles en las juntas dentadas.

Las aberturas pueden presentar diferentes dimensiones y denominaciones según Raine (2003). De acuerdo a sus magnitudes son clasificadas e indicadas en la Tabla 2. También se presentan algunos comentarios a continuación.

corrosión del hormigón

En particular, la corrosión del hormigón es el deterioro donde las reacciones producidas son químicas y no electro-químicas, pudiendo ocurrir en tres formas: lixiviación, reacción de iones y expansión. Lorenzo et al. (2009) concentra la atención en la microbiología como causa importante de la corrosión en puentes y viaductos. La variabilidad genética y fisiológica existente en los microorganismos, especialmente en la bacteria, permite que determinados grupos se instalen en un tipo de estructuras, provocando daños.

corrosión del acero reforzado

Los ambientes agresivos, una alta porosidad, alta capilaridad, deficiencia en el grosor de la cubierta, materiales de construcción defectuosos y grietas severas son, según Perdrix (1992), factores predominantes de corrosión en el acero reforzado.

La corrosión del acero, de acuerdo con su forma manifiesta es clasificada e indicada en la Figura 1.

Puesto que el hormigón presenta una alta concentración de hidróxido de calcio, se produce considerable alcalinidad, con un $\text{pH} \geq 12.5$. El dióxido de carbono, responsable de la reacción de carbonatación, reduce el pH del hormigón, depasivando el acero y facilitando el ataque de sustancias nocivas. La velocidad de penetración del frente de carbonatación está en función directa con la permeabilidad y agrietamiento del material. La relación w/c que determina la permeabilidad específica del hormigón y el grosor de la cubierta, puede influir en la velocidad de carbonatación, como se comprueba en la Tabla 3, (Helene y Pereira, 2007).

Tipos de abertura/Opening Types	Tamaño/Size
Fisura capilar/Capillary Cracks	menor a 0.2 mm/Less than 0.2 mm
Fisura/Cracks	desde 0.2 mm a 0.5 mm/from 0.2 mm to 0.5 mm
Surco/Split	desde 0.5 mm a 1.5 mm/from 0.5 mm to 1.5 mm
Ranuras/Slit	desde 1.5 mm a 5 mm/from 1.5 mm to 5 mm
Fracturas/Fracture	desde 5 mm a 10 mm/from 5 mm to 10 mm
Brechas/Breach	mayor a 10 mm/more than 10 mm

Tabla 2. Dimensiones de las aberturas de grietas, surcos, ranuras, fracturas y brechas
Table 2. Opening dimensions of crack openings, splits, slits, fractures and breaches

Penetración en el tiempo, años /Penetration time in years						
Cubierta/Cover (mm)	5	10	15	20	25	30
Relación/Relation w/c						
0.45	19	75	>100	>100	>100	>100
0.50	6	25	56	99	>100	>100
0.55	3	12	27	49	76	>100
0.60	1.8	7	16	29	45	65
0.65	1.5	6	13	23	36	52
0.70	1.2	5	11	19	30	43

Tabla 3. Penetración del frente de carbonatación en el hormigón de cemento Portland
Table 3. Carbonation front penetration in Portland cement concrete

Yoris et al. (2010) también concluyeron que la carbonatación es significativa en estructuras ubicadas en ambientes industriales y están expuestas a ciclos de humectación y secado.

Una de las medidas preventivas y correctivas es la protección catódica con ánodos de protección. Sin embargo Pereira (2009) señaló que una adecuada concepción y determinación de los sistemas de protección catódica, así como una adecuada inspección periódica de los ánodos, adquieren gran importancia para la eficiencia y rendimiento de un sistema de protección. Esta inspección debiera considerar el diseño de vida útil, porque con el sistema operando, los ánodos se desgastarán hasta consumirse, permitiendo el desarrollo de procesos corrosivos.

b) Reacciones químicas

Además de las reacciones químicas necesarias para la hidratación de los componentes del hormigón, que inducen a deformaciones por encogimiento, pueden existir reacciones nocivas tales como reacciones expansivas. Mehta y Monteiro (2008) indicaron que las más comunes de este tipo son: reacción alcalina del agregado, reacción alcalina dolomita, feldespato calcio-sódico, ataque de sulfatos.

c) Daño provocado por la colisión de vehículos y fuego

La colisión de un vehículo contra las estructuras del puente provoca cargas extremas y elevadas difíciles de dimensionar, causando deformación aguda y daños tales como el desprendimiento de la cubierta y la exposición de la barra de acero reforzado, exigiendo un programa de protección para tales reparaciones (El Debs y Takeya, 2003).

Puesto que el estudio del fuego es bastante común, existe buen material de referencia sobre esta materia. En las estructuras de hormigón reforzado y pre-tensado, el fuego produce una acción tremendamente nociva. El calentamiento del material produce un aumento del volumen generando enormes esfuerzos internos que provocan deformación del hormigón, grietas y colapso del hormigón.

Helene y Pereira (2007) descubrieron que el grado de alteración que se puede producir en un hormigón y sus componentes ante la acción del fuego, dependerá principalmente del nivel de temperatura alcanzado, tiempo de exposición y composición del hormigón. Mehta y Monteiro (2008) también destacaron que un hormigón más permeable otorgará un nivel de deterioro menor que un hormigón más compacto, ya que contiene vapor de agua retenido en los capilares y vacíos de la matriz.

d) Deterioro del hormigón pre-tensado

Los elementos del concreto pre-tensado también pueden sufrir con las acciones nocivas de factores bien conocidos y cuantificados, según Cauduro (2003): pérdida de adherencia entre el acero tensado y el hormigón; relajación del acero pre-tensado; retracción del hormigón; corrosión por deformación del hormigón bajo tensión del acero pre-tensado; deficiencia de la barra de acero de refuerzo pasiva en el anclaje.

3.2 Puentes de Madera

Según Wood Handbook (1999) a comienzos del siglo veinte, la mayoría de los puentes en Norte América eran construidos en madera. En la década de los noventa, se inició una campaña a nivel nacional para restaurarlos y permitirles elevar su capacidad de carga.

Calil et al. (2003) destacaron que la durabilidad de la madera – siempre que sus procesos de secado y preservación hayan sido desarrollados correctamente – junto con el empleo de técnicas modernas, permiten que en Brasil se puedan producir estructuras que duren 50 años o más. Por cierto, el mercado de la construcción requiere productos de alto rendimiento, bajo costo, valor estético y que sean ecológicos desde un punto de vista medioambiental.

3.2.1 Factor de interferencia en el rendimiento estructural de la madera

Según Porteous y Kermani (2008), los factores esenciales que influyen en las propiedades de la madera son de orden anatómicos (densidad, ángulos fibrosos, nodos, falla natural de la madera, presencia de declive y flexión de parénquima); factores de uso y medioambientales (humedad y fallas causadas por ataques biológicos, defectos de secado y de procesos).

3.2.2 Mecanismos de formación y manifestación patológica en estructuras de madera

La manifestación de patologías en la madera se relaciona estrechamente con el ambiente donde se encuentra la madera y con el proceso de secado que se ha llevado a cabo. Aunque es susceptible a deterioro, su durabilidad está probada por medio de técnicas de prevención apropiadas. Es así como podemos mencionar trozos de madera con más de 2000 años de antigüedad en los monumentos Egipcios, según indica Dinwoodie (2000).

El proceso de secado de la Madera, según indica el manual de Montana (2000), es de vital importancia, puesto que brinda las siguientes ventajas: disminuye el peso propio; aumenta la resistencia mecánica; las contracciones de la madera ocurren antes de emplearla; aumenta la resistencia contra los hongos; bacterias e insectos; mejora la resistencia de adherencia; otorga mayor habilidad de adherencia; las deformaciones y surcos generalmente ocurren en la etapa de secado; y finalmente las pinturas, barnices y lacados solo pueden ser aplicados cuando el secado haya terminado. Además, una característica de la madera que merece ser destacada es su propia anisotropía, responsable de diversas propiedades elásticas y de resistencia, de acuerdo con la dirección de aplicación de la carga en relación a las fibras, como proponen Stalnaker y Harris (1997). El deterioro de la madera es un proceso que altera significativamente sus propiedades. De acuerdo con Calil et al. (2008), en forma simple, los agentes causantes de la patología pueden ser clasificados en bióticos y abióticos.

a) Agentes bióticos

Estos son especialmente representados por microorganismos como los hongos y bacterias; coleópteros (escarabajos y taladradores de madera) e insectos isópteros (termitas); y taladradores marinos (moluscos y crustáceos). Los agentes bióticos requieren de algunas condiciones para sobrevivir, tales como temperatura, oxígeno, humedad y una adecuada fuente de alimento, que en este caso es la madera (manual de Montana, 2000).

Los efectos patológicos esenciales de estos agentes son la putrefacción y la plaga de insectos, dependiendo de la habilidad de cada organismo pueden producirse ataques aislados o de un solo tipo, o de un grupo de termitas (organismos cuyo alimento es la madera).

La norma ABNT: NBR 7190 (1997) establece situaciones de riesgo para la biodegradación de la madera.

Los diseñadores deben indicar un procedimiento adecuado para cada situación. Según Calil et al. (2003), en general, cuatro preservadores son responsables por el 80% de la madera tratada: creosota, penta-clorofenol, CCA (sal de cromo – cobre – arsénico) y CCB (sal de cromo – cobre – boro).

b) Agentes abióticos

Según Calil et al. (2003) los agentes bióticos son del tipo físico-mecánicos, químicos y climáticos. El mecanismo patológico esencial de la madera considera los siguientes agentes abióticos: deformación y surcos provocados por la variación de humedad, abrasión mecánica corrosión de partes de metal, degradación foto-química, deterioro por altas temperaturas, patologías causadas por excesiva deformación e inestabilidad, remoción de maderas, fracturas iniciales y daños provocados por el fuego.

3.3 Puentes de acero

Davison y Owens (2003) observaron que el acero estructural cuya aleación metálica está compuesta principalmente de hierro y pequeñas cantidades de carbón (de 0.002% a 2.0%), posee propiedades de resistencia y ductilidad. Aditivos y aleaciones especiales son generalmente empleadas como especialidades en la ingeniería del acero. Además de los tipos de patologías presentes en las estructuras de acero, descritas a continuación, Pinho y Bellei (2007) observan que en las estructuras compuestas (vigas y placas) fabricadas en acero y hormigón, muy empleadas en la construcción de puentes pequeños y de tamaño mediano, también se debe verificar la integración entre el hormigón y el acero, es decir las conexiones.

3.3.1 Mecanismos de formación y manifestación de patologías en estructuras de acero

a) Oxidación del acero

Pannoni (2004) establece que el fenómeno de la corrosión involucra una amplia variedad de mecanismos generadores, que pueden ser clasificados en cuatro grupos: corrosión en ambiente acuoso (90%), oxidación y corrosión por calor (8%), corrosión en ambientes orgánicos (1.8%), corrosión por metales líquidos (0.2%). La causa más frecuente de deterioro en las estructuras de metal es la oxidación del acero. La corrosión de las estructuras de acero se muestra en la Figura 1.



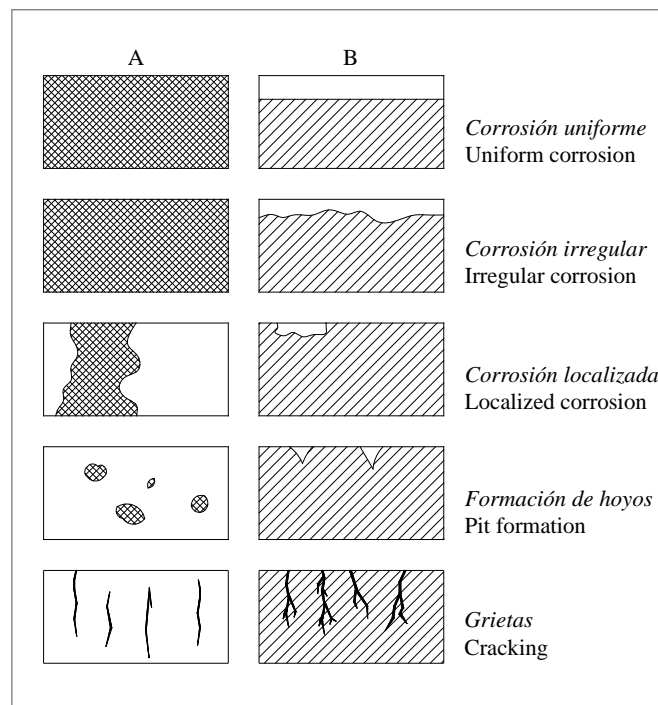


Figura 1. Tipología de la corrosión del acero. (A) vista superior, (B) vista lateral
Figure 1. Steel corrosion typology. (A) superior view, (B) side view

La pintura es el medio generalmente empleado para evitar la oxidación del acero, esta debe ser aplicada en intervalos máximos de 5 a 10 años, dependiendo del ambiente. Los criterios de aplicación de pintura son presentados por Pfeil and Pfeil (2009). Además de la pintura, es esencial contar con un drenaje adecuado, previniendo la acumulación de agua en cualquier parte de la estructura.

El nivel de oxidación puede ser clasificado en tres categorías:

- ✓ superficial – sólo oxidación superficial, sin reducción del área
- ✓ mediana – aparecen aéreas definitivamente corroídas, creando pequeñas capas
- ✓ severa – corrosión avanzada, penetrando el acero y pudiendo llevar a la perforación de la pieza

En zonas marinas, las piezas ubicadas dentro de la fluctuación de las mareas, o expuestas a humedad en forma irregular, son las más afectadas. Las cabezas de los tornillos y las partes soldadas son las más expuestas a corrosión.

b) Deterioro causado por sobrecarga

Las partes expuestas a gran esfuerzo pueden alcanzar su límite de rendimiento, produciendo deterioros permanentemente visibles, que son denominados deterioros plásticos por la norma DNIT (2004).

c) Deterioro causado por falta de refuerzos

La falta de refuerzos en las estructuras de acero puede llevar al desplazamiento severo y extremo, provocando un colapso, debido al pandeo. Otro fenómeno relacionado a la falta de refuerzo es la vibración excesiva (Rodrigues, 2008).

d) Deterioro causado por efectos térmicos

Según Pfeil (1983) las variaciones de temperatura actúan sobre las estructuras creando movimientos de elongación y encogimiento. Cuando estos movimientos son detenidos por un soporte, se ejerce gran esfuerzo sobre el material que pudiera exceder su límite de rendimiento, en especial en estructuras hiperestáticas, provocando así deformaciones plásticas. Este efecto es reducido con el empleo de espacios intermedios entre los soportes y conexiones, y usando equipamiento de soporte en buenas condiciones.

e) Daño causado por el efecto del fuego

Según Pfeil and Pfeil (2009), las altas temperaturas sobre 100°C, tienden a eliminar el límite de rendimiento del material, provocando un diagrama de curva esfuerzo- deformación, también creando una gran variación del módulo de elasticidad. Según Silva (2001) las temperaturas sobre 250 y 300°C causan desplazamiento en los aceros, por lo tanto un tratamiento térmico es la mejor alternativa para aumentar el tiempo de resistencia de un elemento bajo condiciones de fuego.

f) Grietas causadas por fatiga y/o concentración de esfuerzo

Algunos detalles inapropiados producen alta concentración de esfuerzo en partes metálicas, que pueden crear grietas en el metal. Algunos ejemplos son las esquinas entrantes en ángulos agudos, variaciones puntiagudas del espesor o ancho de la placa, concentraciones de soldadura.

Las fisuras o grietas por fatiga se producen en estructuras expuestas a carga cíclica como es el caso de los puentes. Estas variaciones de carga provocan oscilaciones de esfuerzo que pueden generar fisuras y grietas. En los puntos de concentración de esfuerzo, los efectos de fatiga son más agudos. Las rupturas generadas por fatiga son muy peligrosas y frágiles. Algunos factores que pueden provocar grietas y fisuras son: alta frecuencia de tráfico de camiones pesados; variación a gran escala del esfuerzo; calidad del material; calidad de la soldadura, edad e historia de las cargas del Puente.

g) Daños por soldadura

Las fallas por soldadura, ya sean por bajo rendimiento o material inadecuado, pueden provocar daños severos a la estructura generando una ruptura leve.

h) Daños causados por excesiva vibración

El uso de las estructuras de piso, con grandes espacios intermedios que reducen el pandeo, pueden provocar vibraciones incómodas. La norma ABNT: NBR 8800 (2009) indica que el problema de vibraciones puede ser considerado en el diseño estructural, a través del análisis dinámico. Los efectos nocivos de la vibración pueden volverse incómodos para los usuarios y un riesgo de ruptura para la estructura por efecto cíclico, generando fatiga.

3.4 Otras fuentes patológicas en puentes

En los puentes también se pueden observar situaciones patológicas, ya sea en sus elementos o en el conjunto estructural completo, independiente del material con que está construida la estructura. Las patologías más comunes son: problemas en los cimientos y juntas, movimiento estructural general de la estructura, movimiento rotacional total de la estructura, desgaste y defectos en la pista, juntas con espacios insuficientes o condiciones inapropiadas, cambios de los cursos de agua que provocan erosión y rompimiento de los cimientos, problemas con la mantención del equipo de apoyo (DNIT, 2004).

3.5 Mantención estructural e inspecciones de los puentes

La mantención e inspección de los puentes ha sido la preocupación de entidades públicas y privadas y es de consenso general que estas medidas minimizan pérdidas por enormes reformas y también reducen accidentes. En relación a la norma ABNT: NBR 9452 (1986), códigos de inspección de puentes y viaductos de hormigón, Sartori y Mascia (2010) indican que el método actual no cumple íntegramente los requerimientos necesarios para una inspección satisfactoria. Este no cubre los ítems considerados relevantes y frecuentes en puentes y viaductos, porque restringe y afecta la inspección, escondiendo valiosa información con relación a la estabilidad de la estructura. A la luz de esta realidad, es posible apelar al uso de una fuente alternativa además del código DNIT (2004). Existen al menos cinco clasificaciones para la inspección en conformidad con el código DNIT (2004), que incluyen inspecciones de registro, rutinarias, especiales, extraordinarias e intermediarias. Basados en los datos recopilados, debiera adoptarse un programa de mantención que busque aumentar la vida útil y reducir los costos, como una posible intervención para corregir las patologías mencionadas.

4. Identificación de las patologías estructurales de los puentes en la region de Campinas – SP

El correcto diagnóstico de las patologías revelará no solo las causas sino también los individuos responsables de ellas, cuya identificación será necesaria para efectos legales. El diagnóstico de cualquier tipo de patología debe estar basado en un análisis profundo de la estructura y en el conocimiento adecuado de los mecanismos de formación y manifestación de las patologías.

Esta investigación intenta llevar a cabo inspecciones visuales en nueve puentes de caminos colectores urbanos y rurales en Campinas-SP, Brasil. Este artículo presenta los datos recopilados en cuatro de esos puentes. La Tabla 4 destaca las principales características de cada puente analizado.

Puente Bridge	Sistema estructural de la súper-estructura Structural system of the superstructure	Geometría Geometry	Ancho (m) Width(m)	Longitud (m) Length (m)	Material
1	Vigas/Beams	Línea recta ortogonal Straight Line Orthogonal	5.00	13.00	Acero/madera/suelo Steel/wood/soil
2	Losa/Slab	Línea recta ortogonal Straight Line Orthogonal	8.00	7.50	Hormigón reforzado Reinforced Concrete
3	Vigas/Beams	Línea recta ortogonal Straight Line Orthogonal	6.20	38.20	Hormigón reforzado Reinforced Concrete
4	Vigas/Beams	Línea recta ortogonal Straight Line Orthogonal	4.50	16.00	Madera Wood

Table 4. Datos generales de los puentes investigados

Table 4. General data of researched bridges

4.1 Puente 1

Este Puente está ubicado adyacente al camino Joaquim Egídio y es la conexión con la estación ambiental del distrito y también con las granjas agricultoras de la región. Su tráfico principal está constituido por autos y camiones livianos. El puente fue construido con vigas de acero y troncos de madera ubicados en forma transversal, creando una rejilla para la losa (ver Figura 2), compuesta de una capa de suelo. Las juntas están compuestas de bloques de piedra y mortero.



Figura 2. Vista general del puente

Figure 2. Bridge overview

La Figura 3 muestra el Puente con las vigas de acero bajo extremas condiciones de corrosión, las cuales ya han perdido parte considerable de su sección transversal en la zona de tensión. Los tramos transversales también se encuentran en precarias condiciones, con grandes signos de desintegración debido a la continua presencia de humedad que mantiene la capa de suelo que sirve como losa. Existen problemas adicionales en relación con las juntas que presentan grietas visibles, indicando sobrecargas excesivas a las permitidas por el diseño. En parte las juntas no están unidas debido a la erosión y bajo rendimiento; también se observa que los contrarieles de madera están en precarias condiciones y podrían fallar incluso con cargas menores.

Una sugerencia para mejorar o mantener la función estructural del Puente es reemplazar la superestructura por una estructura compuesta de hormigón y acero o madera. Así la losa de hormigón contribuirá a la resistencia que beneficiará una mayor capacidad de carga y eliminará los problemas tales como la vegetación en el puente y la retención de humedad, las cuales provocan pudrición de los troncos.



Figura 3. Corrosión del acero

Figure 3. Steel corrosion



Figura 4. Deterioro del pavimento

Figure 4. Deck deterioration

4.2 Puente 2

Ubicado en la calle Antônio Zaine, en el distrito de Barão Geraldo, el puente de la Figura 4 está cerca de la escuela Rio Branco, presenta tránsito de todo tipo de vehículos y durante el día el flujo de tráfico es muy intenso debido a la escuela. La estructura completa es de hormigón reforzado con un sistema estructural, un puente losa soportado en las juntas por hormigón reforzado. La luz es pequeña, mide solo 7.5 m, pero su ancho total es de 14.0 m incluyendo dos pasos peatonales de 3.0 m cada uno.

La estructura de la junta presenta grandes surcos en diversas partes, indicando que la presión de la tierra adyacente es mayor que la capacidad de resistencia. Además de la deficiencia patológica, el estado de conservación de los contrarieles y pavimento del puente son precarios. Se observa que el drenaje del puente no es eficiente.

El avanzado grado de agrietamiento indica un esfuerzo excesivo. Este tipo de patología puede causar daño a la comunidad, especialmente a los estudiantes de la escuela cercana. La intervención para fortalecer los soportes es urgente.

Las otras patologías tales como la corrosión en refuerzos de aparatos de protección y el avanzado deterioro del pavimento son temas que requieren tratamiento. Se observa una relativa negligencia en la inspección y mantención de la estructura del puente.

4.3 Puente 3

Construido sobre el Rio Atibaia, en el distrito de Sousas, el puente es la conexión principal entre dos distritos, sin mencionar que es la ruta óptima para llegar al distrito de Joaquim Egidio. Este puente sirve como paso constante de autos, buses y camiones, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Vista del tráfico
Figure 5. Traffic view

La estructura es de hormigón reforzado y se divide en dos partes. La losa cubre una luz de 38.2 m, y es soportada por juntas y un pilar central ubicado en el medio del río. Las pistas para tráfico tienen un ancho de 6.2 m, en las cuales se han colocado vigas de acero para soportar las aceras peatonales, cuyo ancho es aproximadamente de 2.0 m y fueron construidas con tablas de madera.

En la parte inferior del puente, las extremidades longitudinales se observan con una creciente variación en la sección de los anclajes (variación por mayor esfuerzo de cizalle en esta región) y las extremidades transversales están conectadas en forma monolítica con una losa tablero.

Entre las patologías se encuentra la excesiva vibración observada al inspeccionar el puente. Se observa que la posible lixiviación del hormigón puede derivarse principalmente de la permeabilidad del hormigón y de un drenaje deficiente. También se observa que hay desprendimiento debido a la corrosión de acero reforzado.

Las extremidades de acero que soportan la acera están corroídas, pero no en un estado avanzado y la losa de hormigón está desgastada. Las partes de madera en la acera están deterioradas por la acción de hongos y presentan graves riesgos para los peatones (ver Figura 6).

Este puente forma parte del patrimonio de la ciudad de Campinas y constituye un riesgo para la población, por tanto requiere una mantención inmediata. La corrosión de los perfiles de metal requiere de un tratamiento con sustrato para remover partes corroídas e impurezas, así como la aplicación de pinturas anticorrosivas en las secciones donde es necesario reemplazar el material. También es necesario reemplazar muchas piezas de la tabla de madera tratada.



Figura 6. Estado de desintegración de la acera

Figure 6. State of decay of walkway

4.4 Puente 4

Ubicado en una pista del camino de Rhodia in Barão Geraldo este puente sirve para conectar zonas de agricultura, transformándolo en un lugar de paso contante de camiones. Su tablero está compuesto de tablas de madera en forma longitudinal y sus troncos y extremidades transversales son empleados como troncos de madera, según se muestra en la Figura 7. El puente tiene una luz de una extensión de 16.0 m y un ancho de pista de 4.5 m de longitud.

Debido al precario estado de conservación de los troncos de madera, una viga transversal de acero ha sido ubicada en el medio de la luz, soportada por dos cables de acero en cada extremo y anclados con bloques de hormigón en la cabecera del puente. En la inspección visual se observa que los cables no tienen suficiente tensión, por lo tanto, es posible moverlos manualmente.

Los troncos se encuentran en estado crítico de pudrición por hongos y la presencia de humedad permitió el desarrollo de musgo, como se muestra en la Figura 8.

Las juntas construidas con hormigón reforzado, presentan varias zonas con aglomeraciones de hormigón debido a deficiencias durante la construcción. Además el puente contiene mucha suciedad, especialmente en su extremidad transversal, lo que indica que el nivel del agua sube hasta la losa aumentando el riesgo de colapso en épocas de inundaciones.

La madera que constituye la losa aún se encuentra en un estado de conservación razonable, pero hay algunos puntos de desintegración y las reparaciones realizadas de mala manera, hacen que el puente sea peligroso para los peatones y conductores locales. Los guardarríes también se encuentran en malas condiciones con poca capacidad de resistencia.

Se recomienda la mantención de este puente para permitir que los cables sean tensionados y también protegidos apropiadamente de la corrosión. Además los troncos del guardarriel deben ser reemplazados a la brevedad.

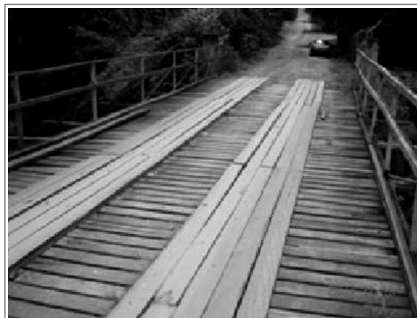


Figura 7. Vista de la losa

Figure 7. View of the slab



Figura 8. Desintegración de la madera de la estructura principal

Figure 8. Decay of wood of the main structure

5. Conclusiones

Esta investigación entrega importante información que es extremadamente relevante para el área de la ingeniería civil, en especial para la mantención de infraestructura de caminos en un país en vías de desarrollo, que debiera mejorar sus medios de transporte con el fin de incrementar sus exportaciones y mejorar su economía. Este factor podría contribuir a elevar el bienestar de su población.

Este artículo destaca las inadecuadas condiciones de muchos puentes para el tráfico vehicular. Esto es confirmado por el número comprobado de patologías serias encontradas, que proveen evidencia sobre las deficiencias en planificación, diseño y mantención.

La revisión de literatura en que se basa este artículo, expresa la importancia del diseño centrado en principios sólidos, involucrando a un equipo multidisciplinario para evaluar todos los puntos dando así al diseño de puentes un carácter funcional, económico, estético y medioambiental. También se observa la necesidad de conocimiento técnico en relación al estudio de patologías antes de realizar una inspección. En el aspecto de la durabilidad, se observa que las patologías localizadas afectan significativamente la estructura, y a través de ellas pueden surgir otras patologías que reducirían la vida útil de la estructura.

Se sugiere que para cada uno de los puentes estudiados, que presentan casos más severos, las entidades públicas presenten soluciones viables, tales como el reemplazo de estructuras dañadas por nuevos puentes, actuando de manera rápida y con eficiencia en la implementación de tales estructuras.

Finalmente se concluye que la prevención es la mejor manera de prevenir condiciones patológicas. La mantención preventiva es apoyada no sólo por un correcto diseño o apropiada implementación de acuerdo a parámetros de calidad, sino también por un programa de mantención estructural.



6. Referencias / References

- ABNT NBR 7187 (2003), Reinforced and pre-stressed concrete bridge design, Rio de Janeiro, Brazil. (In portuguese).
- ABNT NBR 7190 (1997), Wood structures. Rio de Janeiro, Brazil. (In portuguese).
- ABNT NBR 8681(2003), Actions and safety in Structures, Rio de Janeiro, Brazil. (In portuguese).
- ABNT NBR: 8800 (2009), Steel structures. Rio de Janeiro, Brazil. (In portuguese).
- ABNT, NBR 9452 (1986), Surveys of bridges and concrete viaducts. Rio de Janeiro,Brazil. (In portuguese).
- Calil C. Jr, Lahr F. A. R. and Dias A. A. (2003), Sizing of wood structural members. 1st ed. Manole, Barueri,Brazil. (In portuguese).
- Cauduro E. L. (2003), Manual para a Boa Execução de Estruturas Protendidas Usando Cordoalhas de Aço Engraxadas e Plastificadas. Guide to Good Implementation of pre-stressed concrete structures using steel ropes greased and plasticized. 2nd ed. São Paulo: Belgo Mineira. (In portuguese).
- Davison B., Owens G.W. (2003), Steel designer's manual. Blackwell Publishing,UK.
- Dinwoodie J. M. (2000), Timber – its nature and behavior, Van Nostrano Reinhold Company, New York, USA.
- Dnit (2004), National Department of transit infrastructure, Code 010/2004,Inspections on bridges and viaducts of reinforced concrete and prestressed. (In portuguese).
- El Debs M. K. and Takeya T. (2003), Concrete Bridges. São Carlos, USP – Universidade de São Paulo. Notas de aula. (In portuguese).
- Fusco P. B. (2008), Concrete structures: shear forces, Pini. São Paulo,Brazil. (In portuguese).
- Hambly E.C. (1990), Bridge Deck Behaviour. Spon Pres,UK.
- Helene P. and Pereira F. (2007), Rehabilitacion y mantenimiento de estructuras de concreto. São Paulo: Cargraphics. 598 p.
- Liebenberg A. (1993), Concrete bridges: design and construction. 2nd ed. Longman Scientific & Technical, New York.
- Lourenço L. I., Alves V., J. C. Jordy, L. C. Mendes and M. V. C. Lourenço (2009), Parameters for assessment of pathologies in special structures, Revista Engenharia Civil. Guimarães,Portugal, v. 34, p. 5-14, May. (In portuguese).
- Maldonado N., Michelini R., Pizarro N.F. and Tornello M.E. (2009), On pathology and rehabilitation teaching of concrete structures: A case study. In: Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II. Alexander et al (eds). Taylor & Francis Group. London, 6 p.
- Mehta P. and Monteiro P. (2008), Concrete: microstructure, properties and materials 3rd ed. São Paulo: IBRACON. 674 p.
- Montana handbook (2000), Biodeterioração e preservação de madeiras. Biodeterioration and wood preservation Montana Química S. A. Publicação técnica. (In portuguese).
- Pannoni F. (2004), Principles of protection of steel structures in a state of corrosion and fire, v. 2, 3rd ed. São Paulo: Gerdau. (In portuguese).
- Perdrix C. (1992), Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras. Handbook for Diagnosis of Works damaged by reinforcement corrosion. Pini. (In portuguese).
- Pereira A. (2009), Analysis of Comparative analysis of the performance of different systems of cathodic protection in reinforced concrete structures. In: 5th Cinpar – International Congress on Pathology of structures, Proceedings... Curitiba,Brazil.(In portuguese).
- Pfeil W. and Pfeil M. (2009), Steel structures: sizing and practice, 8th ed. Rio de Janeiro: LTC, . (In portuguese).
- Pfeil W. (1983), Bridges: Practical Course. Rio de Janeiro: Campus. (In portuguese).
- Pinho F. and Bellei I. (2007), Bridges and viaducts in composite beams, CBCA, Rio de Janeiro,Brazil. (In portuguese).
- Porteous J. and Kermani A. (2008), Structural timber design to Eurocode 5, John Wiley & Sons,U.K.
- Raina V. (2003), Concrete bridges inspection, repair, strengthening, testing and load capacity evaluation, Mc Graw -Hill publishing, USA.
- Ripper E. (1996), Como evitar erros na construção. How to avoid mistakes in construction 3rd ed. São Paulo: Pini. (In portuguese).
- Ripper T., Souza V. (1998), Pathology, rehabilitation and strengthening of concrete structures, 1st ed., Pini, São Paulo, Brazil. (In portuguese).
- Rodrigues I. (2008), Estados limites de serviço: estruturas de aço. Palestra realizada, no Instituto de Engenharia, Service limit states: steel structures. Lecture held at the Institute of Engineering on 19.06. (In portuguese).
- Sartori A. and Mascia N. (2010), Pathologies in urban roads and bridges in rural areas: case study in Campinas-SP, III Brazilian congress of bridges and structures, Proceedings...,ABPE, v. 1, p. 1-16, Rio de Janeiro, Brazil. (In portuguese).
- Silva V. (2001), Steel structures in fire, Zigurate São Paulo,Brazil. (In portuguese).
- Stalnaker J., Harris E. (1997), Structural design in wood, Chapman & Hall, International Thonsom Publishing. USA.
- Yoris A., Segovia M., Carrasco M., Belbey F., Guilarducci A., Defagot C., Ulibarrie N. y Marcipar A. (2010), Carbonatación del Hormigón Armado: Influencia de la Contaminación Ambiental Urbana. Anais no VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. Córdoba, Argentina. 14 p.
- Wood handbook (1999), Wood as an engineering material. Forest Products Laboratory. Madinson, USA.